

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international

(43) Date de la publication internationale  
30 mai 2025 (30.05.2025)



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2025/108917 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
*H02M 1/42* (2007.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2024/082796

(22) Date de dépôt international :  
19 novembre 2024 (19.11.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
FR2312938 23 novembre 2023 (23.11.2023) FR

(71) Déposant : **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG** [DE/DE] ; Industriestraße 1-3 , 91074 Herzogenaurach (DE).

(72) Inventeurs : **LACHAIZE, Jérôme** ; c/o Vitesco Technologies France, Intellectual Property Department, 40 avenue du Général de Croutte, 31100 Toulouse (FR). **DROUYER, Morgan** ; c/o Vitesco Technologies France, Intellectual Property Department, 40 avenue du Général de Croutte, 31100 Toulouse (FR).

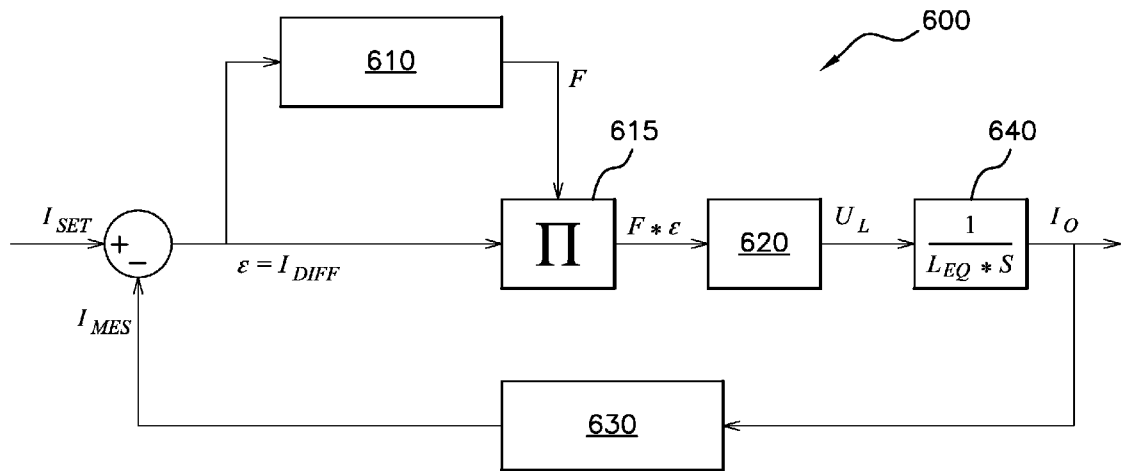
(74) Mandataire : **VITESCO TECHNOLOGIES - ASSOCIATION NO. 1137** ; Landsberger Straße 187, Haus D, 80687 München (DE).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: POWER FACTOR CORRECTION DEVICE FOR A MOTOR VEHICLE CHARGER

(54) Titre : DISPOSITIF DE CORRECTION DU FACTEUR DE PUISSANCE POUR UN CHARGEUR DE VÉHICULE AUTOMOBILE

Fig 6



(57) Abstract: The invention relates to a method comprising receiving a sinusoidal reference current that is in phase with a sinusoidal supply voltage; generating a regulated current corresponding to the current drawn by the electrical charger; generating a measured current on the basis of the regulated current; generating an error signal by comparing the sinusoidal reference current with the measured current; the step of generating the regulated current comprising: generating a gain factor on the basis of the error signal; applying the gain factor to the error signal to generate a weighted error signal; applying a regulation function to the weighted error signal to generate the regulated current.

(57) Abrégé : Un procédé comprend une réception d'un courant sinusoïdal de consigne en phase avec une tension sinusoïdale d'ali-



WO 2025/108917 A1

MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

**(84) États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

---

mentation; une génération d'un courant régulé correspondant au courant tiré par le chargeur électrique; une génération d'un courant mesuré à partir du courant régulé; une génération d'un signal d'erreur par comparaison du courant sinusoïdal de consigne avec le courant mesuré; la génération du courant régulé comprenant : une génération d'un facteur de gain sur la base du signal d'erreur; une application du facteur de gain au signal d'erreur pour générer un signal d'erreur pondéré; une application au signal d'erreur pondéré d'une fonction de régulation pour générer le courant régulé.

## Dispositif de correction du facteur de puissance pour un chargeur de véhicule automobile

### DESCRIPTION

5

#### Domaine technique

La présente description concerne un dispositif de correction du facteur de puissance et un chargeur embarqué de véhicule automobile intégrant un tel chargeur.

#### Arrière-plan technique

- 10 Les chargeurs automobiles embarqués peuvent être connectés à une grande diversité de réseaux d'alimentation électrique. L'une de leurs caractéristiques est l'impédance de ligne (principalement, une inductance de ligne), qui dépend essentiellement de la distance du véhicule au transformateur de puissance et de la qualité du ou des câbles électriques via lesquels le chargeur est connecté au réseau d'alimentation électrique. Une bonne
- 15 approximation consiste à considérer que l'inductance équivalente de la ligne augmente de  $1\mu\text{H}$  à  $1,6\mu\text{H}$  par mètre linéaire de câble électrique.

Cette inductance de ligne s'ajoute à l'inductance de puissance et affecte la stabilité et les performances du module de correction du facteur de puissance intégré dans le chargeur embarqué. Il apparaît ainsi un besoin d'améliorer la situation.

#### 20 Résumé

Un premier aspect concerne un dispositif de correction de facteur de puissance pour un chargeur électrique embarqué d'une batterie de véhicule automobile.

- Selon un premier aspect, un dispositif de correction de facteur de puissance pour un chargeur électrique embarqué d'une batterie de véhicule automobile est décrit. Le dispositif
- 25 de correction de facteur de puissance comprend une boucle de régulation de courant; la boucle de régulation comprenant une chaîne directe générant un courant régulé correspondant au courant tiré par le chargeur électrique et une chaîne de rétroaction générant un courant mesuré à partir du courant régulé; la boucle de régulation étant configurée pour recevoir en entrée un courant sinusoïdal de consigne en phase avec une
- 30 tension sinusoïdale d'alimentation et pour générer un signal d'erreur par comparaison du courant sinusoïdal de consigne avec le courant mesuré fourni par la chaîne de rétroaction ; la chaîne directe comprenant un contrôleur de la boucle de régulation, un adaptateur de gain

configuré pour générer un facteur de gain, un amplificateur configuré pour appliquer le facteur de gain au signal d'entrée du contrôleur, le facteur de gain étant généré sur la base du signal d'erreur.

5 Dans un ou plusieurs modes de réalisation, l'adaptateur de gain est configuré pour générer le facteur de gain sur la base d'une erreur de suivi de la boucle de régulation déterminée à partir du signal d'erreur.

Dans un ou plusieurs modes de réalisation, l'erreur de suivi est déterminée comme la valeur efficace du signal d'erreur.

10 Dans un ou plusieurs modes de réalisation, l'erreur de suivi est déterminée comme la moyenne, sur une période de la tension d'alimentation, du signal d'erreur.

Dans un ou plusieurs modes de réalisation, l'adaptateur de gain est configuré pour générer le facteur de gain sur la base d'un coefficient de pondération du gain de la fonction de transfert en boucle ouverte.

15 Dans un ou plusieurs modes de réalisation, l'adaptateur de gain est configuré pour déterminer un taux d'erreur à partir du signal d'erreur et pour normaliser entre 0 et 1 le taux d'erreur sur la base du courant sinusoïdal de consigne ou du courant mesuré de sorte à générer un taux d'erreur normalisé.

Dans un ou plusieurs modes de réalisation, l'adaptateur de gain est configuré pour comparer le taux d'erreur normalisé avec un taux d'erreur de consigne.

20 Selon un autre aspect, un chargeur électrique de batterie destiné à être embarqué dans un véhicule automobile est décrit. Le chargeur électrique comprenant un dispositif de correction de facteur de puissance selon le premier aspect.

Un deuxième aspect concerne un procédé de correction de facteur de puissance pour un chargeur électrique embarqué d'une batterie de véhicule automobile.

25 Le procédé comprend : une réception d'un courant sinusoïdal de consigne en phase avec une tension sinusoïdale d'alimentation ; une génération d'un courant régulé correspondant au courant tiré par le chargeur électrique ; une génération d'un courant mesuré à partir du courant régulé ; une génération d'un signal d'erreur par comparaison du courant sinusoïdal de consigne avec le courant mesuré ; la génération du courant régulé comprenant :  
30 une génération d'un facteur de gain sur la base du signal d'erreur ; une application du facteur de gain au signal d'erreur pour générer un signal d'erreur pondéré ; une application au signal d'erreur pondéré d'une fonction de régulation pour générer le courant régulé.

Un troisième aspect concerne un programme informatique comprenant des instructions adaptées pour causer l'exécution des étapes d'un procédé de correction de facteur de puissance selon le deuxième aspect. Ces instructions sont destinées à être stockées dans une mémoire d'un dispositif, chargées puis exécutées par un processeur de ce dispositif.

5 De manière générale, le dispositif selon le premier aspect peut comprendre des moyens pour exécuter une ou plusieurs ou toutes les étapes d'un procédé de correction de facteur de puissance selon l'un quelconque des modes de réalisation décrit dans ce document.

Ces moyens peuvent comprendre des moyens logiciels et/ou matériels (i.e. hardware). Ces moyens peuvent comprendre par exemple un ou des circuits configurés pour exécuter une  
10 ou plusieurs ou toutes les étapes d'un procédé de correction de facteur de puissance selon le deuxième aspect ou selon l'un quelconque des modes de réalisation décrits dans ce document. Ces moyens peuvent comprendre par exemple au moins un processeur et au moins une mémoire comprenant des instructions, la mémoire et les instructions étant  
15 toutes les étapes d'un procédé de correction de facteur de puissance selon l'un quelconque des modes de réalisation divulgués dans ce document.

Le terme "circuit" peut se référer à un ou des circuits analogiques et/ou numériques, qu'ils soient combinés ou non avec des logiciels et/ou micrologiciels pour exécuter une ou  
20 plusieurs fonctions décrites dans ce document. Ces circuits peuvent inclure une ou plusieurs mémoires et/ou un ou plusieurs processeurs matériels (par exemple, un microprocesseur ou microcontrôleur) qui coopèrent afin de permettre à un dispositif hôte incluant ce circuit de mettre en œuvre une ou plusieurs fonctions décrites dans ce document. Ces processeurs matériels peuvent nécessiter ou non un logiciel (par exemple, un microprogramme) pour mettre en œuvre la ou les fonctions correspondantes.

## 25 **Brève description des Figures**

D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés parmi lesquels :

[Fig. 1] – la Figure 1 représente de manière schématique un chargeur embarqué dans un  
30 véhicule automobile selon un exemple de réalisation.

[Fig. 2] - la Figure 2 montre des courbes illustrant l'effet sur le courant d'un dispositif de correction de facteur de puissance selon un exemple de réalisation.

[Fig. 3] - la Figure 3 représente de manière schématique un système comprenant un réseau d'alimentation électrique et un chargeur incluant un dispositif de correction de facteur de puissance selon un exemple de réalisation dans le cas où le réseau inclut les inductances de ligne.

5 [Fig. 4] - la Figure 4 représente de manière schématique un système comprenant un réseau d'alimentation électrique et un chargeur incluant un dispositif de correction de facteur de puissance selon un exemple de réalisation dans le cas où les inductances de ligne sont ramenées aux inductances de puissance pour constituer une inductance équivalente

[Fig. 5] - la Figure 5 montre la fonction de transfert en boucle ouverte d'un dispositif de correction de facteur de puissance avec différents types de contrôleur selon des exemples  
10 de réalisation et pour deux valeurs d'inductance de ligne.

[Fig. 6] - la Figure 6 représente de manière schématique un dispositif de correction de facteur de puissance intégrant un adaptateur du gain de la fonction de transfert en boucle ouverte selon un exemple de réalisation.

15 [Fig. 7] - la Figure 7 représente de manière schématique un dispositif d'adaptation du gain de la fonction de transfert en boucle ouverte pour un dispositif de correction de facteur de puissance selon un exemple de réalisation.

[Fig. 8] - la Figure 8 est un organigramme d'un procédé d'activation d'un dispositif d'adaptation de gain pour un dispositif de correction de facteur de puissance selon un  
20 exemple de réalisation.

[Fig. 9] - la Figure 9 montre des courbes illustrant le fonctionnement d'un dispositif de correction de facteur de puissance en l'absence d'adaptation de gain selon un exemple de réalisation.

[Fig. 10] - la Figure 10 montre des courbes illustrant le fonctionnement d'un dispositif de correction de facteur de puissance avec une adaptation de gain selon un exemple de  
25 réalisation.

### **Description détaillée**

Dans la description qui va suivre, des éléments identiques, similaires ou analogues seront désignés par les mêmes chiffres de référence.

30 La présente description concerne un chargeur de véhicule (appelé également chargeur embarqué) embarqué dans un véhicule automobile et un dispositif de correction du facteur

de puissance pour un tel chargeur. Un tel chargeur est nommé « High Voltage On-board Charger » dans la terminologie anglosaxonne.

La Figure 1 représente de manière schématique un tel chargeur 100.

Lors de la charge du véhicule, c'est ce chargeur 100 à l'intérieur du véhicule qui reçoit la tension  $V_{GRID}$  fournie par le réseau d'alimentation électrique et optimise la charge de la batterie 190. La tension fournie par le réseau électrique, dénommée ici tension d'alimentation  $V_{GRID}$ , est une tension alternative, sinusoïdale de fréquence considérée comme fixe (en pratique, cette fréquence varie autour d'une valeur de référence, par exemple 50Hz, en fonction des différentes charges/sources de puissance connectées au réseau). Cette tension peut être fournie via une source d'énergie électrique monophasée ou triphasée. Par souci de simplification, seul le cas monophasé sera décrit en détail. Mais l'invention est applicable également à une source triphasée, l'adaptation de gain étant appliquée sur chaque phase.

Le chargeur contient un dispositif 110 de correction du facteur de puissance (appelé ici aussi PFC pour « Power Factor Corrector » selon la terminologie anglosaxonne) dont le but est de tirer un courant  $I_0$  du réseau électrique de sorte que le courant tiré  $I_0$  soit le plus sinusoïdal possible et le plus en phase possible avec la tension  $V_{GRID}$  du réseau d'alimentation électrique afin d'optimiser le facteur de puissance. En effet, le facteur de puissance est lié à la puissance instantanée qui est le produit de la tension par le courant, de sorte que le facteur de puissance sera maximum si le courant et la tension sont en phase (et de même signe). Les pertes de puissance sont ainsi réduites.

La Figure 2 montre l'action du PFC 120 sur le courant  $I_0$  tiré par le chargeur. La forme du courant tiré par le chargeur, de façon passive sans action corrective du PFC, dépend de la batterie et du PFC 110 et n'est pas forcément sinusoïdal, ni en phase avec la tension sinusoïdale d'alimentation comme illustré par la Figure 2. Selon l'exemple de la sous-figure 2A, le courant tiré  $I_0$ , avant correction par le PFC, n'est ni sinusoïdal ni en phase avec la tension alternative  $V_{GRID}$  du réseau électrique. Des pertes de puissance sont représentées schématiquement sur la sous-figure 2A et dépendent notamment du déphasage entre la tension et le courant. En sous-figure 2B, on voit que le courant corrigé  $I_0$  tiré par le chargeur, tel que corrigé sous l'action du PFC, est sinusoïdal et en phase avec la tension alternative  $V_{GRID}$  du réseau électrique.

Le PFC 110 reçoit en entrée la tension alternative  $V_{GRID}$  du réseau électrique et alimente en courant  $I_1$  un bus 120 de tension continue. Le bus 120 de tension continue est appelé aussi « DC link » dans la terminologie anglosaxonne. Le DC link 120 peut comprendre une ou

plusieurs capacités. Dans l'exemple schématique de la Figure 1, une seule capacité C1 est représentée.

Le PFC 110 assure ainsi un transfert de puissance entre une tension d'entrée alternative  $V_{GRID}$  et une tension de sortie, qui est une tension continue, constante et qui est la tension  $V_{DC}$  aux bornes du DC Link. Cette tension peut être imposée à une valeur par exemple de 400 Volts ou 800 Volts.

La sortie du DC link 120 est connectée à un dispositif 130 de transfert de puissance (appelé « high voltage DC-DC » dans la terminologie anglosaxonne) qui reçoit la tension  $V_{DC}$  aux bornes du DC Link 120, réalise un transfert de puissance entre le DC link à tension continue et fixe et la tension d'entrée  $V_{BAT}$  de la batterie 190. La tension d'entrée de la batterie  $V_{BAT}$  est aussi une tension continue, mais variable : cette tension d'entrée  $V_{BAT}$  de la batterie 190 dépendant du niveau de charge de la batterie 190. La tension aux bornes de batterie 190 chute au fur et à mesure que la batterie 190 se décharge et augmente lors de la charge de la batterie 190. La tension nominale aux bornes de la batterie 190, dans l'état de pleine charge, peut, elle, être par exemple de 400 Volts ou 800 Volts.

Les Figures 3 et 4 représentent de manière schématique un système comprenant un réseau d'alimentation électrique et un chargeur incluant un dispositif de correction de facteur de puissance selon un exemple de réalisation. Par rapport à la figure 3, la figure 4 montre l'effet des inductances de lignes sur le PFC par une inductance additionnelle appliquée aux inductances de puissance, dont la somme constitue l'inductance équivalente.

Selon ce qui est représenté sur la Figure 3 et pour ce mode de réalisation du PFC, on a, sur chacun des bras dans le cas d'une alimentation triphasée, dans le chargeur 300, une inductance de puissance notée  $L_{BOOST}$ . sur chaque bras Une cellule 350 de commutation inclut, pour chaque phase du signal d'alimentation, 2 interrupteurs : un interrupteur haut 351 et un interrupteur bas 352. Le transfert de puissance se fait entre le réseau d'alimentation électrique et le DC link par un jeu d'activation et de désactivation de ces interrupteurs de sorte que l'inductance de puissance est chargée puis déchargée dans le DC link via le PFC 330. De manière connue, les signaux de contrôle de ces interrupteurs sont produits par un dispositif de commande 360 du PFC 330, à partir de signaux produits dans la boucle 340 de régulation en courant du PFC. L'inductance de puissance  $L_{BOOST}$  a une valeur nominale de l'ordre de plusieurs centaines de  $\mu H$  (micro Henri), par exemple entre 2 et 300  $\mu H$ .

Selon le réseau d'alimentation électrique 310, la distance du véhicule au dernier transformateur de puissance peut varier. De ce fait des inductances additionnelles, qu'on appelle inductances de ligne  $L_{LINE}$ , s'ajoutent aux inductances de puissance. La valeur de

ces inductances de lignes dépend principalement de la distance entre le véhicule en cours de charge et le dernier transformateur de puissance d'isolement du réseau d'alimentation électrique. Cet accroissement d'inductance est de l'ordre de  $1 \mu\text{H}$  par mètre. Par exemple pour 2 km depuis le dernier transformateur, l'inductance de ligne cumulée sur une phase est de 2000  $\mu\text{H}$ , soit 2mH.

Une analyse en petits signaux permet de caractériser l'effet des inductances de ligne et montre que la valeur de l'inductance de ligne cumulée s'additionne à l'inductance de puissance de la phase concernée de sorte que, comme représenté à la Figure 4, pour chaque phase, l'inductance équivalente  $L_{EQ}$  est la somme de l'inductance de puissance  $L_{BOOST}$  et de l'inductance de ligne  $L_{LINE}$ , avec  $L_{EQ}$  très supérieure à  $L_{BOOST}$ .

Par exemple avec une inductance de puissance de 200  $\mu\text{H}$ , l'inductance équivalente prenant en compte les inductances de ligne sera de 2,2 mH, soit un facteur 10 sur la valeur de l'inductance de puissance. De ce fait, la réponse du chargeur est sensiblement modifiée, notamment la fonction de régulation de courant mise en œuvre par le dispositif de commande 360 du PFC 330 visant à générer un courant sinusoïdal le plus en phase possible avec la tension d'alimentation.

Le PFC 330 reçoit en entrée la tension sinusoïdale d'alimentation. Si on ne contrôle pas le courant tiré en entrée par le PFC 110, c'est la charge, c'est-à-dire ici la batterie, qui va imposer la forme du courant tiré par le chargeur. La fonction du PFC 330 est d'imposer que la charge tire un courant qui soit sinusoïdal en entrée du DC link.

La fonction de régulation de courant est réalisée par le PFC au moyen de la boucle 340 de régulation de courant qui reçoit en entrée un courant sinusoïdal de consigne  $I_{SET}$  (« set point » selon la terminologie anglosaxonne) en phase avec la tension sinusoïdale d'alimentation. La boucle de régulation régule ainsi le courant  $I_0$  tiré par le chargeur.

L'amplitude du courant sinusoïdal de consigne est adaptée au cours du temps : l'amplitude à un instant donné est celle qui permet de fournir aux bornes du DC link une puissance permettant de subvenir aux besoins en courant de charge de la batterie.

La boucle de régulation de courant du PFC peut être une boucle numérique. La boucle de régulation de courant comprend une chaîne directe et une chaîne de rétroaction. La chaîne directe comprend un contrôleur de la boucle de régulation de courant. Ce contrôleur peut être un contrôleur numérique.

Ce contrôleur peut être par exemple un contrôleur à 1 pôle et 1 zéro (contrôleur 1p/1z) ou un contrôleur PI (proportionnel intégral).

Les contrôleurs PI (expression numérique de  $H_{PI}(z) = K_p + K_i/z$ ) sont une implémentation courante des contrôleurs de boucle de régulation de courant car ces contrôleurs demandent un nombre limité d'étapes de calcul et fournissent un gain élevé à basse fréquence. Plus précisément, lorsque l'impédance de la ligne augmente, la fréquence de coupure de la fonction de transfert en boucle ouverte diminue, la marge de phase (qui correspond à l'écart entre la phase de la fonction de transfert en boucle ouverte et  $-180^\circ$  à la fréquence correspondant à l'annulation du gain de cette même fonction de transfert en boucle ouverte) de la boucle de courant diminue, devient inférieure au seuil de stabilité (souvent considéré comme étant de  $40$  à  $45^\circ$ , la stabilité étant plus généralement déterminée par la combinaison des marges de gain et de phase) et le système commence à osciller.

C'est pourquoi d'autres types de contrôleurs tels que 1 zéro / 1 pôle (notés « 1z/1p »), également appelés contrôleurs à retard de phase, sont utilisables. Ces contrôleurs se caractérisent par un gain plus faible au niveau de la fréquence fondamentale. Une impédance de ligne élevée a pour effet de déplacer la fonction de transfert en boucle ouverte vers un gain plus faible, ce qui se traduit par un gain trop faible au niveau du fondamental. En conséquence, la capacité de la boucle de régulation de courant à suivre le signal sinusoïdal de consigne est réduite et une erreur permanente apparaît.

Le profil (notamment la phase) du signal de consigne  $I_{SET}$  du courant dans le temps est déterminé sur la base de la détection de la phase de la tension d'alimentation par une boucle à verrouillage de phase (PLL). L'amplitude du signal de consigne du courant est celle qui permet de générer au niveau du DC link une puissance permettant de subvenir aux besoins en charge de la batterie. Pour répondre aux besoins de la batterie, le PFC doit ainsi tirer du réseau d'alimentation électrique une puissance suffisante, ce qui se traduit par une amplitude correspondante du courant  $I_0$  tiré en entrée du PFC.

Le taux de distorsion harmonique, qui détermine avec quel taux le courant  $I_0$  tiré contient des harmoniques de la fréquence fondamentale est également considéré pour la génération du courant lui-même. Notamment, lorsque la valeur de l'inductance équivalente (somme de l'inductance de puissance et de l'inductance de ligne) augmente, cela peut augmenter le taux de distorsion harmonique. La boucle de régulation peut alors devenir instable au point que la régulation ne fonctionne plus. Plus les inductances de lignes augmentent, plus la marge de phase chute et plus la boucle de régulation devient instable.

Le contrôleur de la boucle de régulation de courant doit être robuste face à des impédances de ligne élevées. Cependant, les variations d'inductance de ligne équivalente d'une prise réseau à l'autre sont si importantes qu'il n'est pas possible de calibrer un contrôleur PI qui

garantira les exigences de stabilité pour toutes les valeurs d'inductance (notamment en termes de marge de gain, marge de phase).

En outre, le contrôleur a pour but de contrôler la commutation à haute fréquence de manière à assurer un suivi correct de la forme d'onde sinusoïdale de la tension d'entrée, ce qui se traduit par un facteur de déplacement aussi proche que possible du signal de consigne (facteur 1 si le PFC 110 ne gère pas le contrôle de la puissance réactive).

Un décalage involontaire entre le courant tiré en entrée du PFC 110 et la tension du réseau peut avoir différents effets tels que:

- Produire une puissance réactive inattendue, c'est-à-dire des pertes de puissance qui doivent être dissipées ;
- perturber le réseau d'alimentation car le facteur de puissance attendu n'est pas respecté.
- augmenter la puissance apparente demandée au réseau d'alimentation (et éventuellement un surdimensionnement du réseau d'alimentation).

La Figure 5 montre la fonction de transfert en boucle ouverte d'un dispositif de correction de facteur de puissance (PFC) avec différents types de contrôleur selon des exemples de réalisation.

Les courbes des sous-figures 5A-5B montrent le retard (déphasage) et atténuation (gain) entre le signal de consigne du courant  $I_{SET}$  et le courant  $I_{MES}$  mesuré pour différents types de contrôleur, avec et sans inductance de ligne, selon la fréquence du courant.

Plus précisément, les diagrammes de Bode des sous-figures 5A-5B, les courbes 51, 52 représentent la fonction de transfert en boucle ouverte (gain en sous-figure 5A et phase en sous-figure 5B) d'un PFC 110 contrôlé par un contrôleur PI, avec une inductance de ligne de  $2200\mu\text{H}$  (courbe 52) et sans inductance de ligne (courbe 51). De même courbes 53, 54 représentent la fonction de transfert en boucle ouverte (gain et phase) d'un PFC 110 contrôlé par un contrôleur  $1z/1p$ , avec une inductance de ligne de  $2200\mu\text{H}$  (courbe 54) et sans inductance de ligne (courbe 53).

Pour les deux types de contrôleur, la phase de la fonction de transfert en boucle ouverte ne dépend pas de l'impédance de la ligne : pour un contrôleur  $1z/1p$ , la phase a un minimum local alors que la phase tend à diminuer jusqu'à  $-180$  avec un contrôleur PI. En conséquence, le contrôleur  $1z/1p$  peut être rendu robuste à toute inductance. Ceci est applicable également pour un contrôleur PI.

Cependant le contrôleur 1z1p a un minimum local et est donc robuste à toute inductance de ligne. En effet, si l'inductance de ligne augmente, elle fait diminuer le gain. Le passage par 0 du gain sera obtenu pour des fréquences plus faibles : ainsi la marge de phase sera obtenue pour des fréquences plus faibles. La phase réaugmentant à partir du minimum de phase  
5 lorsqu'on se déplace vers les fréquences de plus en plus faible, la marge de phase n'en serait que plus grande, et donc le système est plus stable.

Un inconvénient d'un contrôleur 1z/1p par rapport à un contrôleur PI est un gain de la fonction de transfert en boucle ouverte nettement plus faible à la fréquence fondamentale (fréquence du réseau d'alimentation, typiquement 50 ou 60 Hz): près de 20 dB, comme le  
10 montre les courbes de la sous-figure 5A. Un gain faible à la fréquence fondamentale conduit à une erreur de suivi entre le courant tiré en entrée du PFC 110 et le signal de consigne  $I_{SET}$ .

D'autre part, un contrôleur 1z/1p ne peut pas être réglé pour fournir un niveau de gain suffisant à la valeur maximale attendue de l'impédance de ligne, car cela conduirait à une fonction de transfert en boucle ouverte sans marge de gain (qui est l'écart entre le gain en  
15 dB de la fonction de transfert en boucle ouverte et 0dB, à la fréquence correspondant à une phase de cette même fonction de transfert égale à  $-180^\circ$ ) lorsque l'impédance de ligne est faible ou inexistante. Un contrôleur 1z/1p est moins puissant qu'un contrôleur PI et génère un gain au fondamental plus faible.

La solution proposée ici consiste ainsi en une adaptation en temps réel, du gain de la  
20 fonction de transfert en boucle ouverte de la boucle de régulation de courant. Cette régulation est mise en œuvre au moyen d'un dispositif dédié, également appelé « dispositif d'adaptation du gain de la fonction de transfert en boucle ouverte », ou "adaptateur de gain" ou, de manière simplifiée, « adaptateur ». Cette adaptation de gain est effectuée de sorte à compenser les effets sur le gain de la fonction de transfert en boucle ouverte de l'inductance  
25 équivalente de la ligne du réseau d'alimentation. L'adaptateur de gain peut être mis en œuvre au moyen d'un contrôleur intégrateur.

Cette régulation peut être mise en œuvre au moyen d'un programme informatique mis en œuvre par un dispositif de commande 360 du PFC. L'adaptateur de gain peut ainsi être un dispositif numérique, faisant partie du dispositif de commande 360 du PFC.

L'adaptateur de gain permet notamment de compenser les variations produites sur la  
30 fonction de transfert en boucle ouverte par l'inductance équivalente dues aux inductances de puissance et inductances de ligne.

L'adaptateur de gain est conçu de sorte à minimiser l'erreur de suivi de la boucle de régulation de courant (par exemple, à minimiser la valeur efficace de l'erreur de suivi

déterminée à partir du signal d'erreur) et détermine un facteur de gain  $F$  à appliquer au signal d'erreur  $\varepsilon$  de la boucle de régulation de courant. L'adaptateur de gain effectue une adaptation (ou modulation) du gain de la fonction de transfert en boucle ouverte de la boucle de régulation de courant par application d'un facteur de gain déterminé sur la base du signal d'erreur  $\varepsilon$ . Cette adaptation (ou modulation) peut être appliquée sur la base de la valeur efficace, normalisée par rapport au courant lui-même, du signal d'erreur  $\varepsilon$ .

Avantageusement, l'adaptateur de gain est conçu pour assurer l'adaptation de la régulation de la valeur efficace normalisée du signal d'erreur  $\varepsilon$  autour d'un point de consigne étalonnable qui n'est pas fixé à 0% mais proche de zéro (par exemple de 1%) afin d'éviter que la stratégie ne surcompense la ligne l'effet d'inductance et de réduire la marge de gain.

La Figure 6 représente de manière schématique un dispositif de correction de facteur de puissance intégrant un adaptateur de gain selon un exemple de réalisation.

Le dispositif 600 de correction de facteur de puissance comprend une boucle de régulation de courant. La boucle de régulation comprenant une chaîne directe générant un courant régulé  $I_0$  correspondant au courant tiré par le chargeur électrique et une chaîne de rétroaction faisant l'acquisition de ce courant (par exemple, par acquisition dans le bloc 630)  $I_{MES}$  à partir du courant régulé  $I_0$ .

La chaîne directe de la boucle de régulation reçoit en entrée un courant sinusoïdal de consigne  $I_{SET}$  en phase avec une tension sinusoïdale d'alimentation et génère un signal d'erreur  $\varepsilon$  par comparaison du courant sinusoïdal de consigne avec le courant mesuré fourni par la chaîne de rétroaction.

La chaîne directe comprenant un contrôleur 620 de la boucle de régulation, un adaptateur 610 de gain configuré pour générer un facteur de gain  $F$  et un amplificateur 615 pour appliquer le facteur de gain  $F$  dans la chaîne directe au signal d'erreur et génère un signal d'erreur pondéré, fourni en entrée au contrôleur 620 (PI ou 1z1P) de la boucle de régulation de courant. Le contrôleur 620 applique une fonction de régulation au signal d'erreur pondéré.

Le facteur de gain est généré sur la base du signal d'erreur.

Selon la Figure 6, la chaîne directe de la boucle de régulation comprenant en outre un bloc intégrateur 640 correspondant à la modélisation (par exemple, selon un modèle en petits signaux) selon le formalisme de Laplace (utilisant le paramètre  $s$ ) de l'effet inductif de l'inductance équivalente  $L_{EQ}$ .

La Figure 7 représente de manière schématique un dispositif 700 d'adaptation (ou adaptateur) de gain pour un dispositif de correction de facteur de puissance selon un

exemple de réalisation de l'adaptateur 610 de gain de la figure 6. L'adaptateur de gain reçoit le signal d'erreur et génère le facteur de gain F sur la base du signal d'erreur.

Le facteur de gain F est généré à partir du signal d'erreur  $\varepsilon$  obtenu par comparaison (par exemple, par calcul de la différence) du courant sinusoïdal de consigne  $I_{SET}$  avec le courant mesuré  $I_{MES}$ , ce courant mesuré étant fourni (voir la figure 6) par la chaîne de rétroaction de la boucle de régulation :  $\varepsilon = I_{SET} - I_{MES}$ .

Le facteur de gain F peut être déterminé sur la base d'un taux d'erreur de suivi obtenu à partir du signal d'erreur.

Une erreur de suivi  $R(\varepsilon)$  est calculée sur la base du signal d'erreur  $\varepsilon$ .

10 Cette erreur de suivi  $R(\varepsilon)$  peut être calculée comme la valeur efficace (valeur RMS, « root mean square », selon la terminologie anglosaxonne) du signal d'erreur :  $R(\varepsilon) = \text{RMS}(\varepsilon)$ . Cette valeur efficace peut être calculée sur une période de la tension d'alimentation (par exemple, grâce à l'information de passage à zéro fournie par la PLL). Cette valeur efficace est usuellement calculée comme la racine carrée de la moyenne du signal d'erreur au carré, la

15 moyenne étant calculée sur une période de la tension d'alimentation. Cette moyenne pouvant être calculée par intégration du signal d'erreur ou par une somme discrète de valeurs échantillonnées.

L'erreur de suivi  $R(\varepsilon)$  peut également être calculée comme la moyenne, sur une période de la tension d'alimentation, du signal d'erreur. Cette variante permet de réduire la charge du

20 processeur en supprimant l'opération de racine carrée.

Le taux d'erreur  $T(\varepsilon)$  est déterminé sur la base de cette erreur de suivi  $R(\varepsilon)$ . La détermination peut comprendre une normalisation (bloc 710), une pondération (bloc 720) et/ou une intégration (bloc 730) incluant une fonction de clipping (bloc de saturation 731). Le taux d'erreur peut ainsi être un taux d'erreur normalisé, puis pondéré et/ou intégré.

25 La normalisation (bloc 710) de l'erreur de suivi peut être effectuée sur la base du courant sinusoïdal de consigne ou du courant mesuré. La normalisation peut être effectuée en calculant un coefficient de normalisation N et en divisant l'erreur de suivi  $R(\varepsilon)$  par le coefficient de normalisation pour déterminer une erreur de suivi relative  $R(\varepsilon)/N$ . Le coefficient de normalisation N peut être la valeur efficace (ou respectivement la valeur moyenne)  $R(I_{SET})$

30 du courant sinusoïdal de consigne ou respectivement celle  $R(I_{MES})$  du courant mesuré.

De manière optionnelle, un taux d'erreur de consigne RC (soit nul, soit non nul et compris entre 0 et 1) peut en outre être choisi pour la valeur efficace relative  $R(\varepsilon)/N$  : ce taux d'erreur

de consigne RC sert à définir un optimal à atteindre. Le taux d'erreur normalisé peut être ainsi être déterminé à  $TN(\epsilon) = RC - R(\epsilon)/N$ .

La dynamique de l'adaptation peut être réglée grâce par un coefficient de pondération K appliqué (bloc 720) au taux d'erreur normalisé de sorte à déterminer un taux d'erreur

5 pondéré :

$$TP(\epsilon) = K * TN(\epsilon).$$

La valeur de K peut être calibrée de manière à trouver un compromis entre la nécessité d'une adaptation rapide (le système doit être stabilisé assez rapidement pour empêcher toute oscillation de désactiver le PFC 110) et un apprentissage suffisamment lent pour qu'il  
10 soit décorrélé de la dynamique de contrôle actuelle.

L'intégration est réalisée par un contrôleur intégral 730 incluant une fonction de clipping 731, et appliqué au taux d'erreur pondéré  $TP(\epsilon)$  de sorte à obtenir un taux d'erreur intégré  $TI(\epsilon)$  en sortie. Le contrôleur intégral a une fonction de transfert discrète de la forme  $K/z$ , le bloc 720 appliquant le coefficient K de réglage. La fonction du bloc saturation 731 est de limiter la  
15 valeur du taux d'erreur intégré  $TI(\epsilon)$ .

Le facteur de gain F est ensuite calculé sur la base du taux d'erreur (normalisé, pondéré ou intégré). Le facteur de gain est calculé sur la base du taux d'erreur (normalisé, pondéré ou intégré) de sorte que le facteur de gain F ( $F = 1 - TI(\epsilon)$  dans l'exemple de la figure 7, la valeur de référence étant égale à 1) est une fonction croissante de l'erreur de suivi.

20 En effet, plus le taux d'erreur normalisé  $R(\epsilon)/R(I_{SET})$  augmente, plus  $RC - R(\epsilon)/R(I_{SET})$  diminue (vers les valeurs négatives). Plus cette erreur est négative, plus l'intégration dérive vers des valeurs négatives. Et plus la valeur de  $F = 1 - TI(\epsilon)$  augmente.

Dans le cas où un contrôleur  $1z/1p$  est utilisé dans la boucle de régulation et calibré pour fournir une marge de phase minimale satisfaisant les exigences de stabilité.

25 La stratégie de régulation du gain F a pour but d'améliorer le gain de la fonction de transfert en boucle ouverte, c'est-à-dire de compenser la chute de gain potentielle associée aux inductances de ligne, qui, si elles n'étaient pas compensées, engendreraient un moins bon suivi de la consigne de courant sinusoïdale, c'est-à-dire un moins bon taux de distorsion harmonique.

30 Le PFC est ainsi robuste à n'importe quelle valeur d'impédance de ligne.

Le chargeur embarqué ainsi configuré résiste à une large gamme d'inductances parasites, c'est-à-dire à de nombreuses configurations du réseau d'alimentation électrique, y compris dans le cas d'une alimentation par d'onduleurs statiques.

La Figure 8 illustre un exemple de réalisation d'un procédé d'activation du calcul du facteur de gain.

La valeur initiale du facteur de gain peut être réinitialisée et fixée à 1 (étape 880) après une période de précharge (étape 810) pendant laquelle le dispositif d'adaptation de gain n'est pas activé.

Puis, selon des modes de réalisation, on attend que la synchronisation de la boucle à verrouillage de phase (PLL) soit obtenue (étape 815) afin qu'il soit possible de détecter les passages à zéro de la tension d'alimentation. Ensuite une première valeur du courant mesuré  $I_{MES}$  peut être obtenue (étape 820).

Par ailleurs, le dispositif d'adaptation de gain est désactivé (étape 830) lorsqu'aucune charge n'est en cours, de sorte que le facteur de gain est gelé (étape 870) à sa valeur courante.

En outre, le dispositif d'adaptation de gain peut être désactivé (de sorte que le facteur de gain est dans ce cas également gelé à sa valeur courante, étape 870) lorsque la valeur efficace (ou la valeur moyenne) du courant de consigne  $I_{SET}$  est faible (par exemple si  $R(I_{SET})$  est inférieur à un seuil, selon le test de l'étape 840) pour plusieurs raisons :

- Le calcul de la valeur efficace est moins précis lorsque le courant de consigne  $I_{SET}$  est faible (inférieur à un seuil) ;

- Pour les topologies comprenant des diodes caractérisées par un mode de conduction discontinu, le gain en boucle ouverte en mode DCM (mode de conduction discontinue) est sensiblement différent de celui en mode CCM (mode de conduction continue), ce qui nécessiterait un contrôleur dédié pour chaque mode.

Le calcul de facteur de gain est effectué à l'étape 850, lorsque le dispositif d'adaptation de gain n'est pas désactivé suite aux tests cumulés des étapes 830 et 840. Le calcul de facteur de gain est effectué par exemple selon ce qui est décrit à la figure 7.

Après activation, lors de la mise en œuvre du procédé de calcul de facteur de gain à l'étape 850, la mesure de l'erreur  $\varepsilon$  et le calcul des sommes cumulées pour obtenir  $R(\varepsilon)$  et le coefficient de normalisation  $N$  sont effectués à la période de découpage. Le calcul du facteur de gain  $F$ , sur la base de ces sommes cumulées sur une période, est effectué à chaque passage à zéro de la tension d'alimentation, afin d'économiser la charge de l'unité centrale du dispositif d'adaptation de gain qui effectue le calcul du facteur de gain à appliquer.

Puis, suite au calcul du facteur de gain et à un passage à zéro de la tension d'alimentation (étape 860), on effectue à nouveau l'étape 820 de mesure du courant  $I_{MES}$  (selon ce qui a été

décrit dans ce document par exemple par référence à la figure 6). Suite à l'étape 820, les étapes 830, 840 sont répétées à nouveau selon la logique décrite ci-dessus.

Les Figures 9 et 10 montrent le comportement du chargeur avec un contrôleur 1z1p pour une valeur de 2,27mH comme inductance de ligne, lorsque l'adaptation de gain est activée (Figure 10) ou désactivée (Figure 9).

Avec cette inductance de ligne élevée, le signal d'erreur  $\varepsilon$  oscille entre -0,6 A et +0,6 A (onde cosinoïdale à la fréquence du réseau, puisque  $\sin(\omega t + \varphi) - \sin(\omega t) = 2 \cos(\omega t + \varphi/2) \sin(\varphi/2) \approx \varphi \cos(\omega t + \varphi/2)$ ) en l'absence d'adaptation de gain (sous-figure 9A).

Lorsque le facteur de gain est maintenu constant, égal à 1 (sous-figure 9D) : la valeur efficace de du signal d'erreur  $\varepsilon$  converge vers 0,4A (sous-figure 9B), soit une valeur efficace relative  $RMS(\varepsilon) / RMS(I_{SET})$  de près de 3% (sous-figure 9C) de la valeur efficace  $RMS(I_{SET})$  du courant sinusoïdal de consigne  $I_{SET}$ .

Lorsque l'adaptation de gain F est activée :

- l'amplitude du signal d'erreur  $\varepsilon$  est réduite à +/-0,16A : elle est donc divisée par un facteur 4 (sous-figure 10A);
- la valeur efficace  $RMS(\varepsilon)$  du signal d'erreur  $\varepsilon$  est maintenue en dessous de 0,1A (sous-figure 10B)
- la valeur efficace relative  $RMS(\varepsilon) / RMS(I_{SET})$  est limitée à environ 0,7 % (taux d'erreur de consigne choisie pour cette simulation) (sous-figure 10C); ; et
- le facteur de gain F converge vers 4, dans un délai d'environ 1 seconde (sous-figure 10D).

Dans la description des différentes fonctions de traitement de signaux et procédés, bien que les étapes soient décrites de manière séquentielle, l'homme du métier comprendra que certaines étapes peuvent être omises, combinées, réalisées dans un ordre différent et/ou en parallèle.

Une ou plusieurs ou toutes les fonctions, étapes et procédés décrits dans ce document peuvent être mises en œuvre par logiciel (par exemple, via un logiciel sur un ou plusieurs processeurs, pour exécution sur un ordinateur à usage général ou à usage spécifique) et/ou par du hardware (par exemple un ou plusieurs circuits électroniques, programmables ou non, spécifiques ou non et/ou tout autre composant matériel).

Les dispositifs décrits dans ce document comprennent des moyens de mise en œuvre des fonctions décrites pour ces dispositifs. Ces moyens peuvent comprendre des moyens logiciels (software) (par exemple, des instructions d'un ou plusieurs composants d'un

programme) et/ou moyens matériels (hardware) (par exemple, mémoire(s) de données, processeur(s), bus de communication, interface(s) matérielle(s), circuits électroniques, etc).

Ces moyens peuvent par exemple comprendre un ou plusieurs circuits électroniques configurés pour exécuter une ou plusieurs ou toutes les fonctions décrites pour ces

5 dispositifs. Ces moyens peuvent par exemple comprendre au moins un processeur et au moins une mémoire comprenant des instructions de programme configurées pour, lorsqu'elles sont exécutées par le processeur, causer l'exécution par le dispositif concerné d'une ou plusieurs ou toutes les fonctions décrites pour le dispositif concerné.

La présente description concerne ainsi un logiciel ou programme d'ordinateur, susceptible

10 d'être exécuté par un dispositif hôte (tel que par exemple un dispositif de correction du facteur de puissance ou disposition d'adaptation de gain), au moyen d'un ou plusieurs processeurs de données, ce logiciel / programme comportant des instructions pour causer

l'exécution par ce dispositif hôte de tout ou partie des étapes de procédés et/ou fonctions décrits dans ce document pour ce dispositif hôte. Ces instructions sont destinées à être  
15 stockées dans une mémoire du dispositif hôte, chargées puis exécutées par un ou plusieurs processeurs de ce dispositif hôte de sorte à causer l'exécution par ce dispositif hôte du procédé.

Ce logiciel / programme peut être codé au moyen de n'importe quel langage de

programmation, et être sous la forme de code source, code objet, ou de code intermédiaire  
20 entre code source et code objet, tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable.

## REVENDEICATIONS

1. Dispositif (600) de correction de facteur de puissance pour un chargeur électrique embarqué d'une batterie de véhicule automobile,  
le dispositif de correction de facteur de puissance comprenant une boucle de régulation de  
5 courant; la boucle de régulation comprenant une chaîne directe générant un courant régulé  
(I<sub>0</sub>) correspondant au courant tiré par le chargeur électrique et une chaîne de rétroaction  
générant un courant mesuré à partir du courant régulé;  
la boucle de régulation étant configurée pour recevoir en entrée un courant sinusoïdal de  
consigne (I<sub>SET</sub>) en phase avec une tension sinusoïdale d'alimentation et pour générer un  
10 signal d'erreur par comparaison du courant sinusoïdal de consigne avec le courant mesuré  
fourni par la chaîne de rétroaction ;  
la chaîne directe comprenant un contrôleur (620) de la boucle de régulation, un adaptateur  
(610) de gain configuré pour générer un facteur de gain, un amplificateur (615) configuré  
pour appliquer le facteur de gain au signal d'entrée du contrôleur, le facteur de gain étant  
15 généré sur la base du signal d'erreur.
2. Dispositif de correction de facteur de puissance selon la revendication 1, dans  
lequel l'adaptateur (610) de gain est configuré pour générer le facteur de gain sur la base  
d'une erreur de suivi de la boucle de régulation déterminée à partir du signal d'erreur.
3. Dispositif de correction de facteur de puissance selon la revendication 2, dans  
20 lequel l'erreur de suivi est déterminée comme la valeur efficace du signal d'erreur.
4. Dispositif de correction de facteur de puissance selon la revendication 2, dans  
lequel l'erreur de suivi est déterminée comme la moyenne, sur une période de la tension  
d'alimentation, du signal d'erreur.
5. Dispositif de correction de facteur de puissance selon l'une quelconque des  
25 revendications précédentes, dans lequel l'adaptateur de gain est configuré pour générer le  
facteur de gain sur la base d'un coefficient de pondération (K) du gain de la fonction de  
transfert en boucle ouverte.
6. Dispositif de correction de facteur de puissance selon l'une quelconque des  
revendications précédentes, dans lequel l'adaptateur (610) de gain est configuré pour  
30 déterminer un taux d'erreur à partir du signal d'erreur et pour normaliser entre 0 et 1 le taux  
d'erreur sur la base du courant sinusoïdal de consigne ou du courant mesuré de sorte à  
générer un taux d'erreur normalisé.

7. Dispositif de correction de facteur de puissance selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'adaptateur de gain est configuré pour comparer le taux d'erreur normalisé avec un taux d'erreur de consigne.

8. Chargeur électrique de batterie destiné à être embarqué dans un véhicule automobile, le chargeur électrique comprenant un dispositif de correction de facteur de puissance selon l'une quelconque des revendications précédentes.

9. Procédé (600) de correction de facteur de puissance pour un chargeur électrique embarqué d'une batterie de véhicule automobile, le procédé comprenant

- une réception d'un courant sinusoïdal de consigne ( $I_{SET}$ ) en phase avec une tension sinusoïdale d'alimentation ;
- une génération d'un courant régulé ( $I_O$ ) correspondant au courant tiré par le chargeur électrique ;
- une génération d'un courant mesuré ( $I_{MES}$ ) à partir du courant régulé;
- une génération d'un signal d'erreur par comparaison du courant sinusoïdal de consigne avec le courant mesuré;

la génération du courant régulé comprenant :

- une génération d'un facteur de gain sur la base du signal d'erreur ;
- une application du facteur de gain au signal d'erreur pour générer un signal d'erreur pondéré ;
- une application au signal d'erreur pondéré d'une fonction de régulation pour générer le courant régulé ( $I_O$ ).

10. Programme d'ordinateur comprenant des instructions adaptées pour, lorsque les instructions sont exécutées par au moins un processeur, causer l'exécution des étapes du procédé selon la revendication 9.

1/10

Fig 1

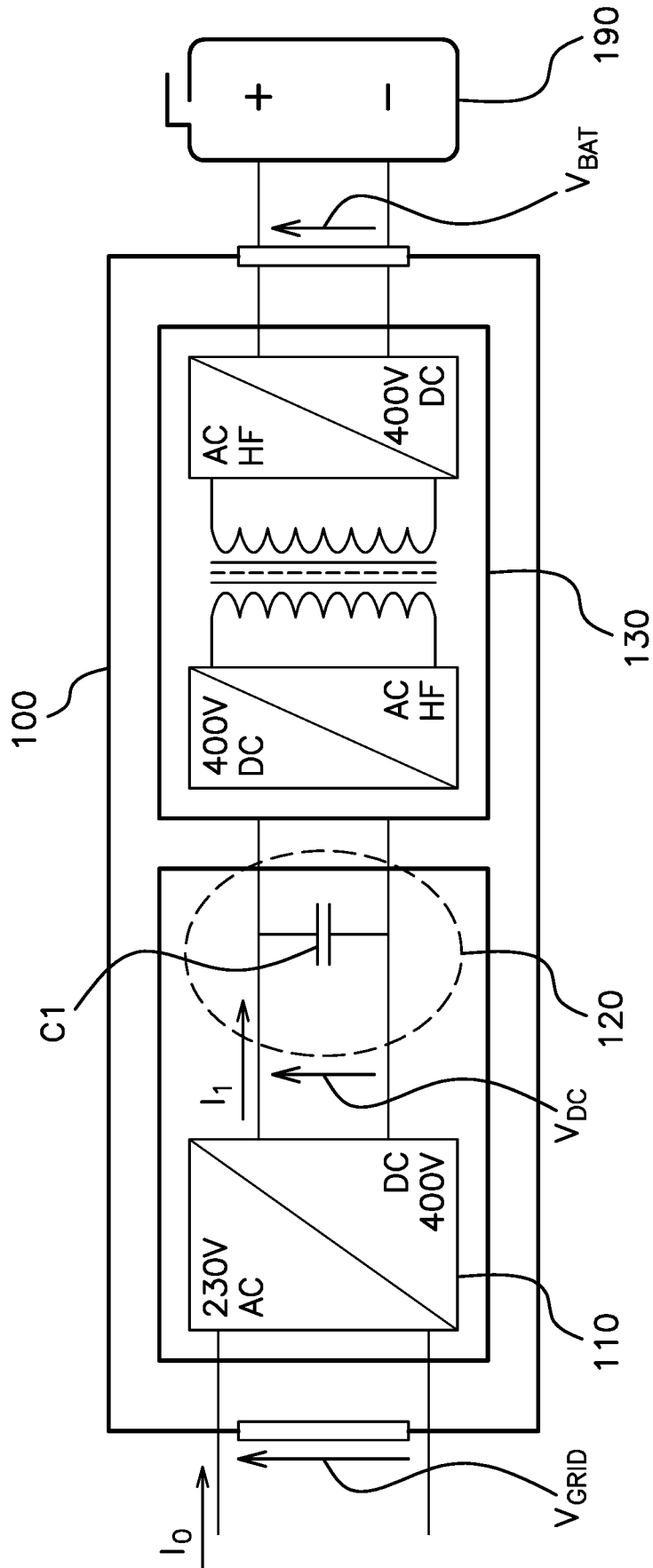


Fig 2

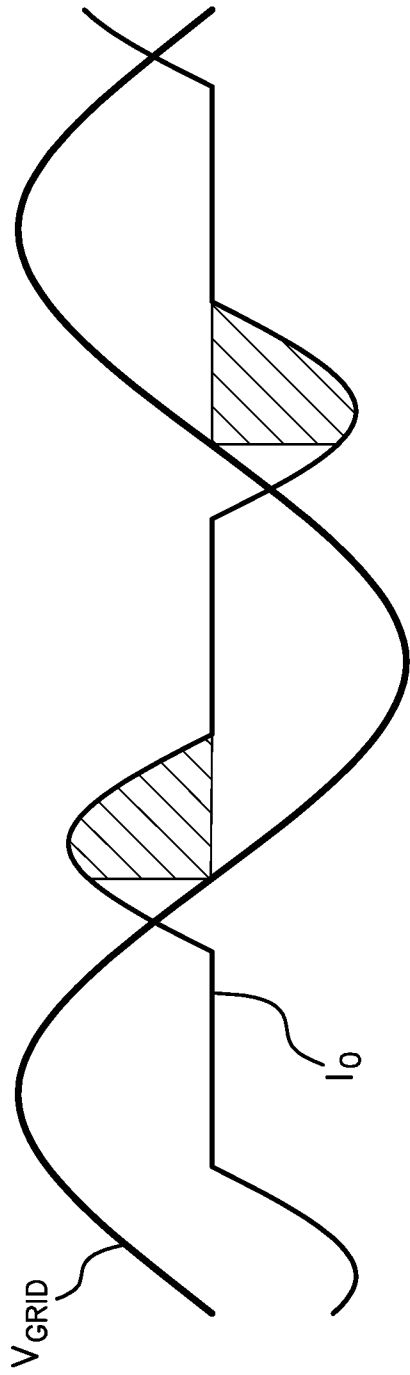


Fig 2A

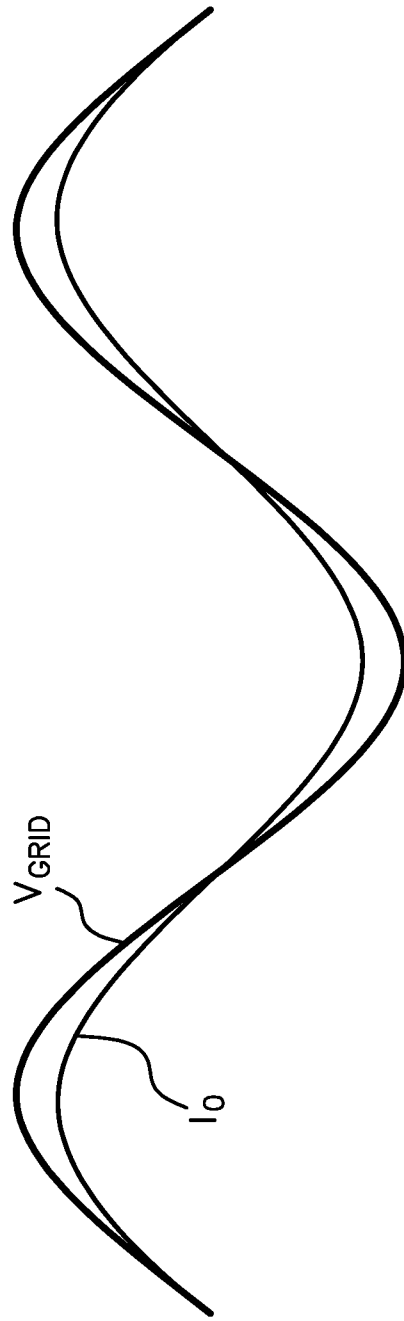


Fig 2B

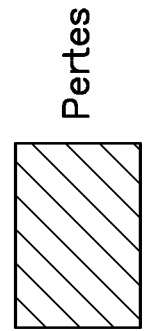


Fig 3

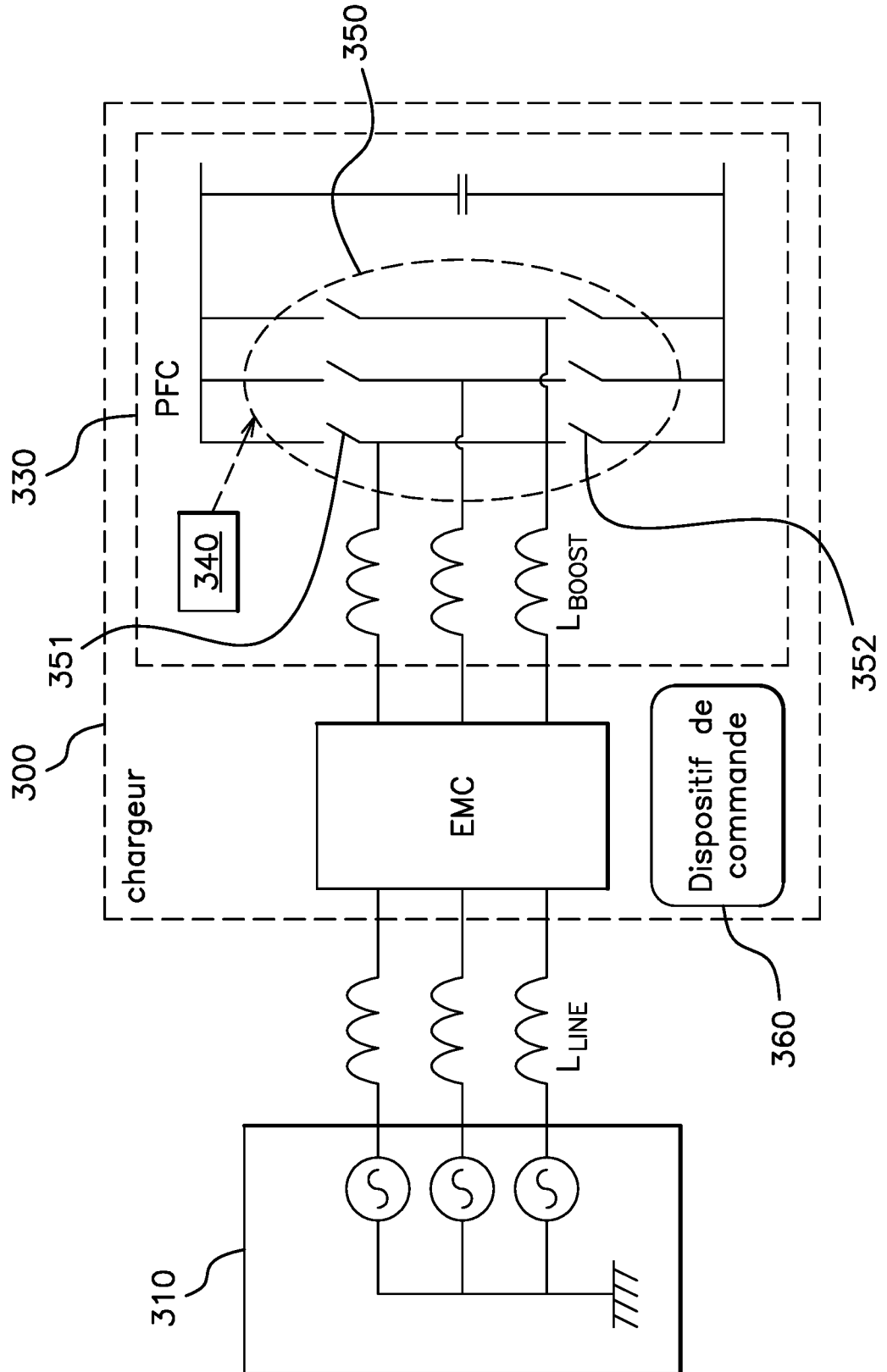
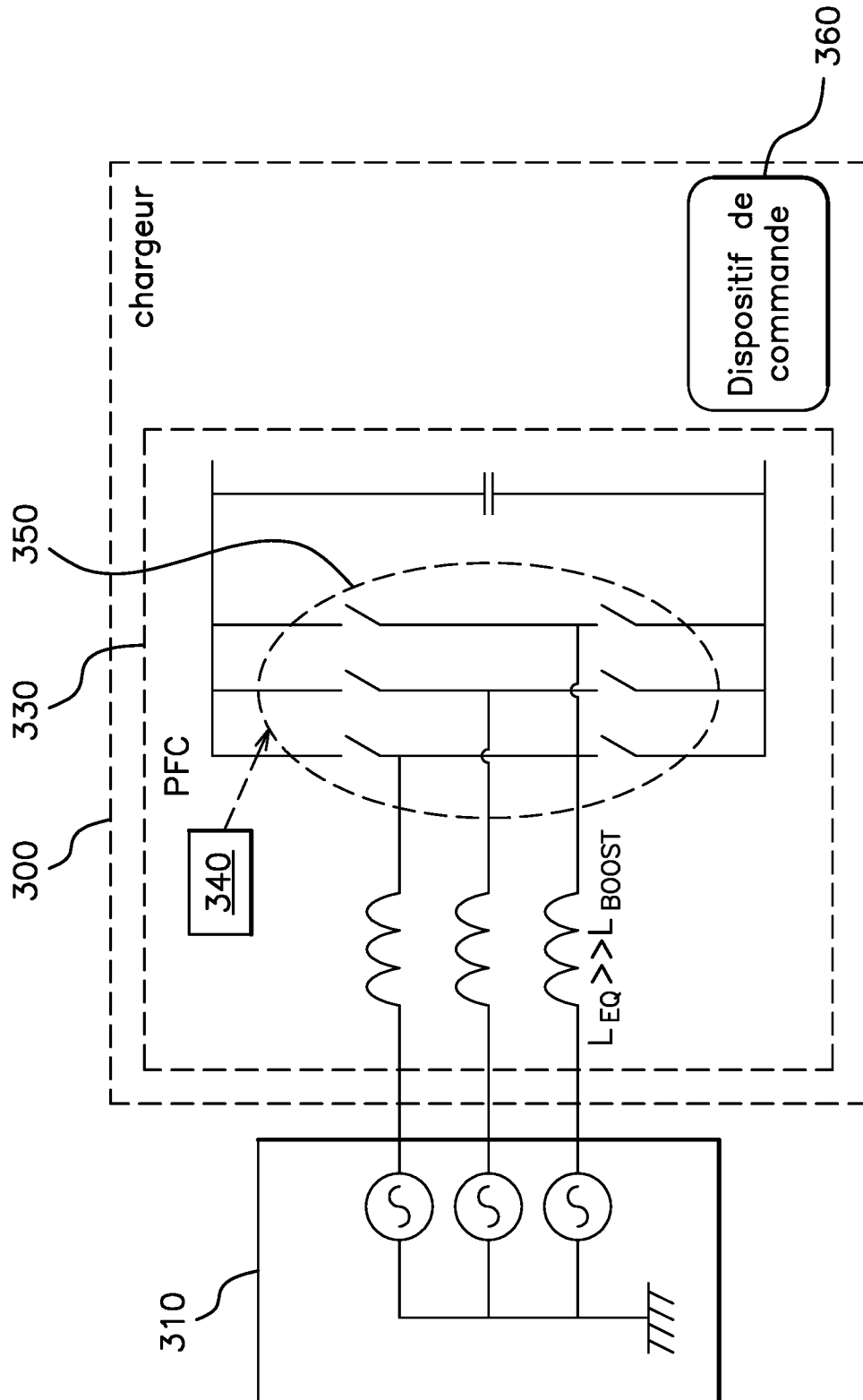


Fig 4



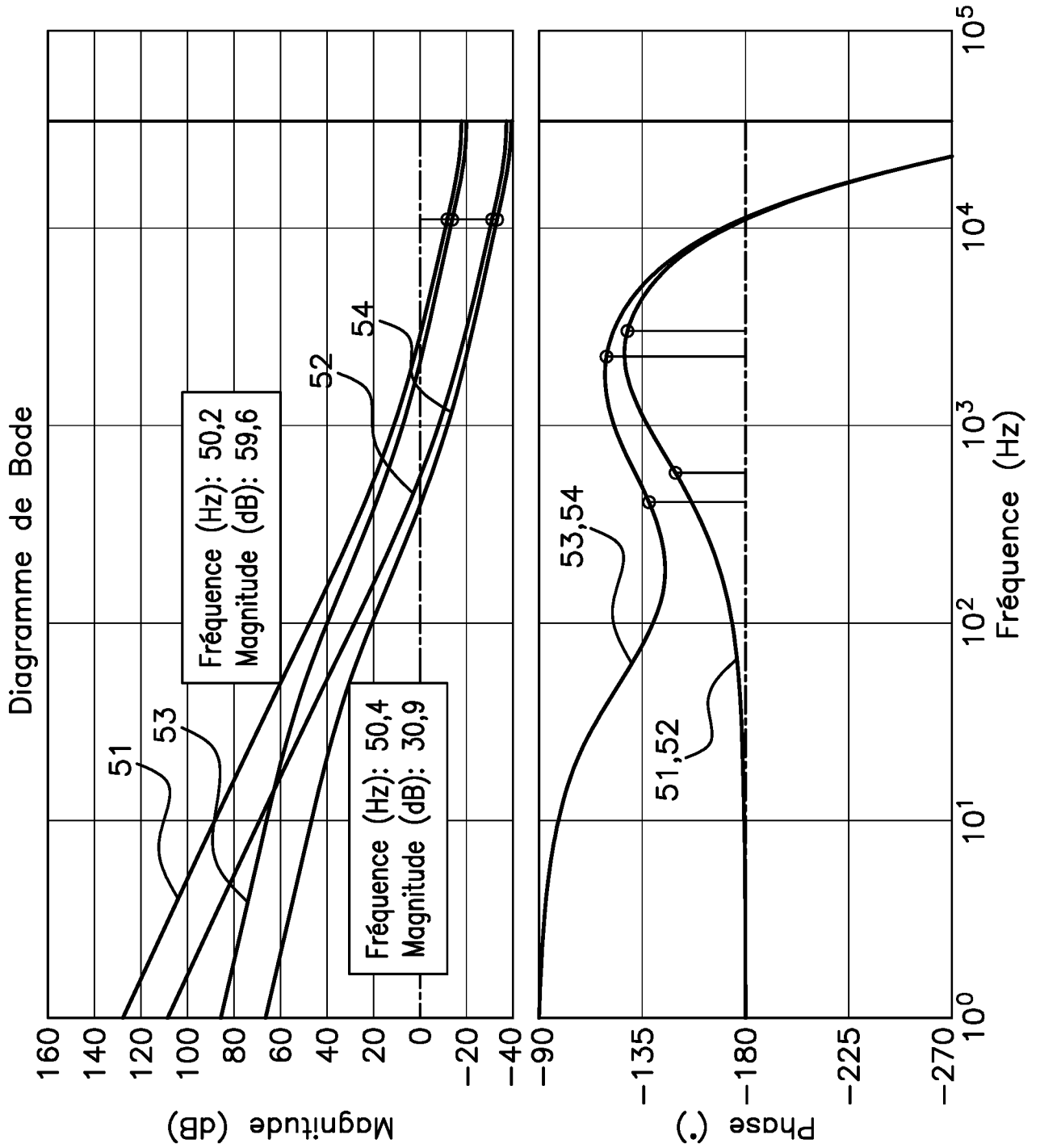


Fig 5

Fig 5A

Fig 5B

Fig 6

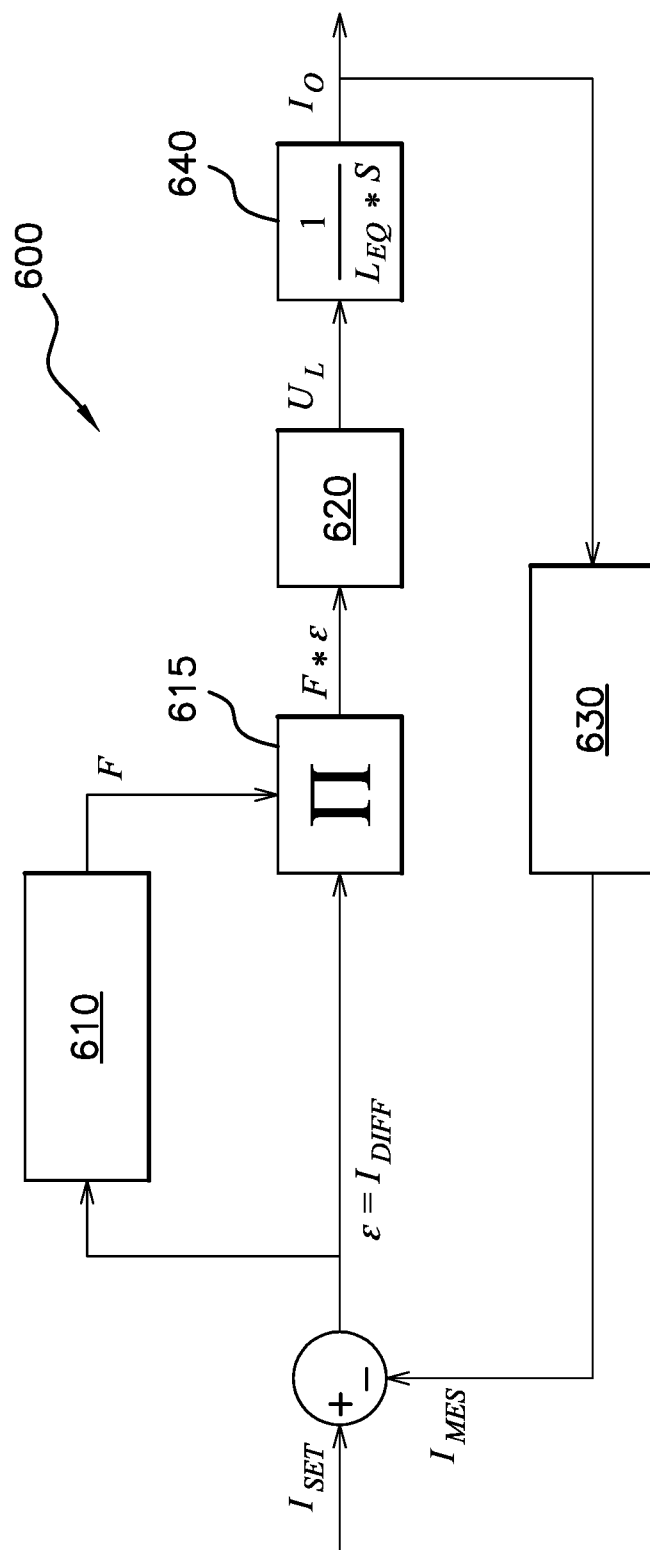


Fig 7

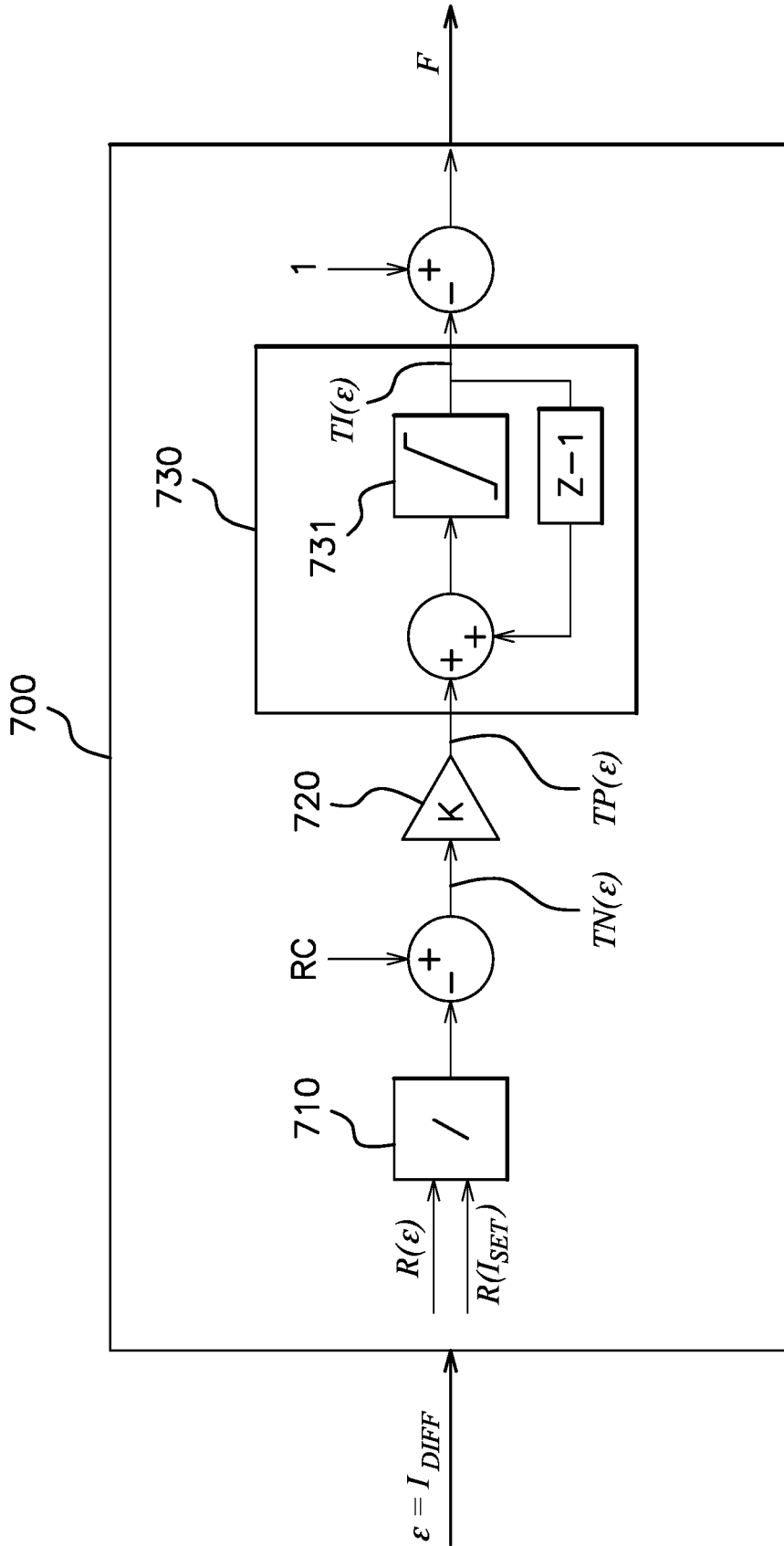
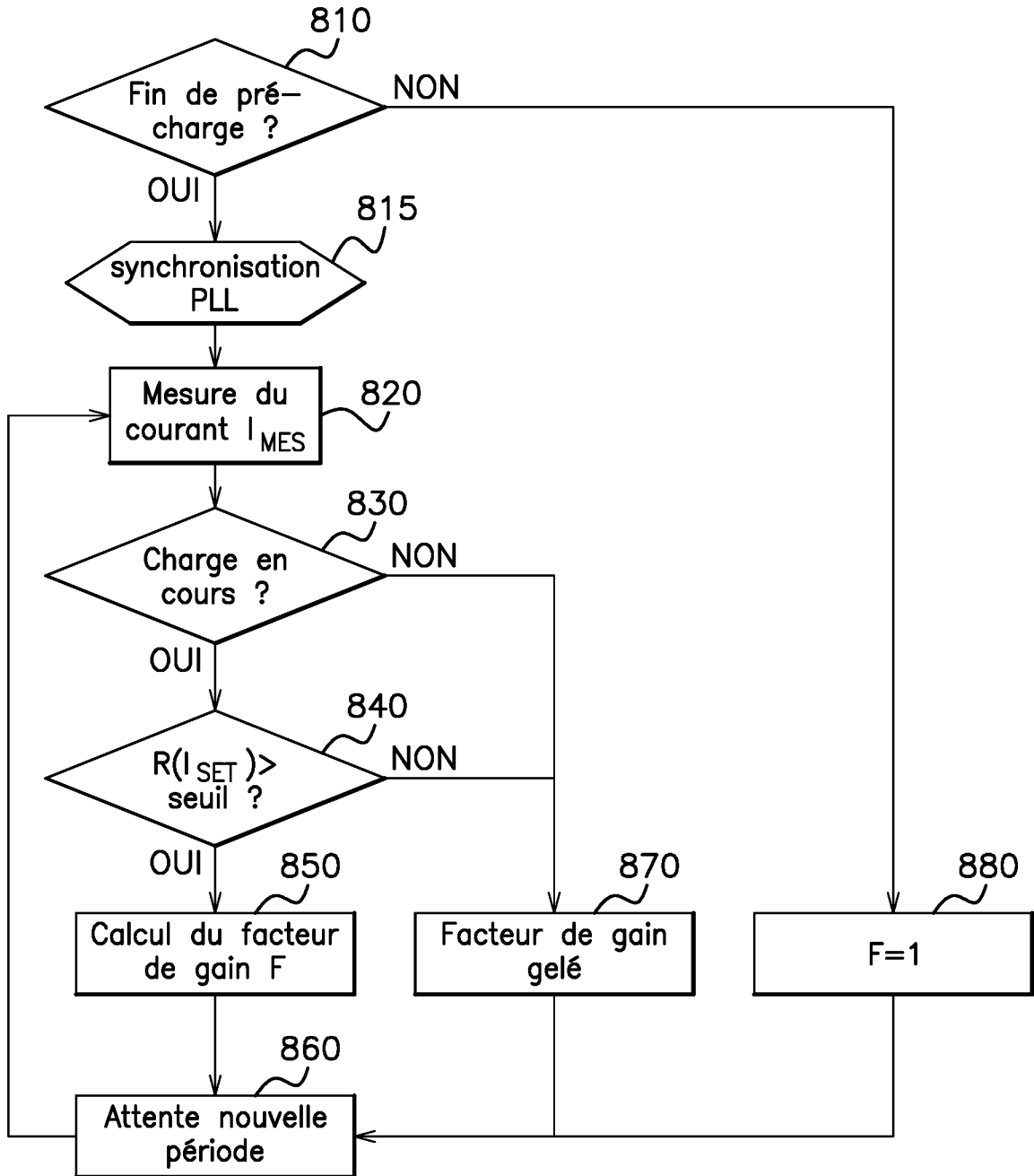


Fig 8



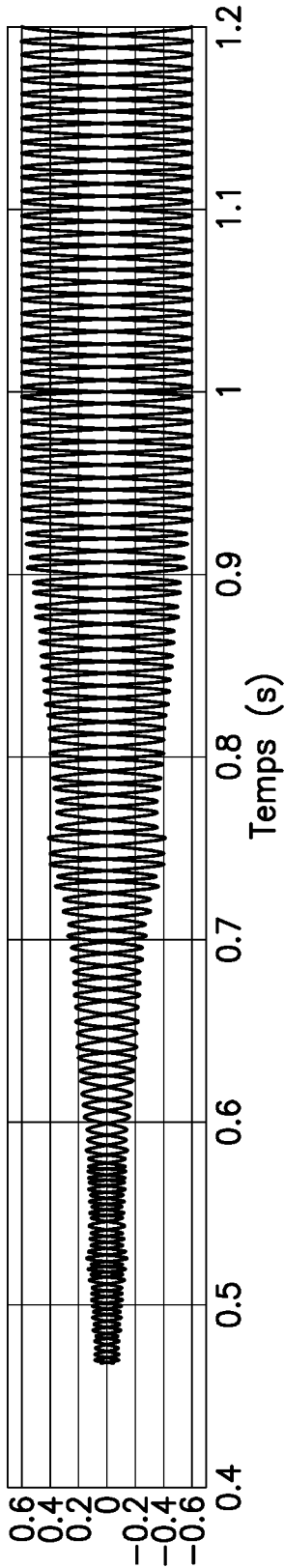


Fig 9A

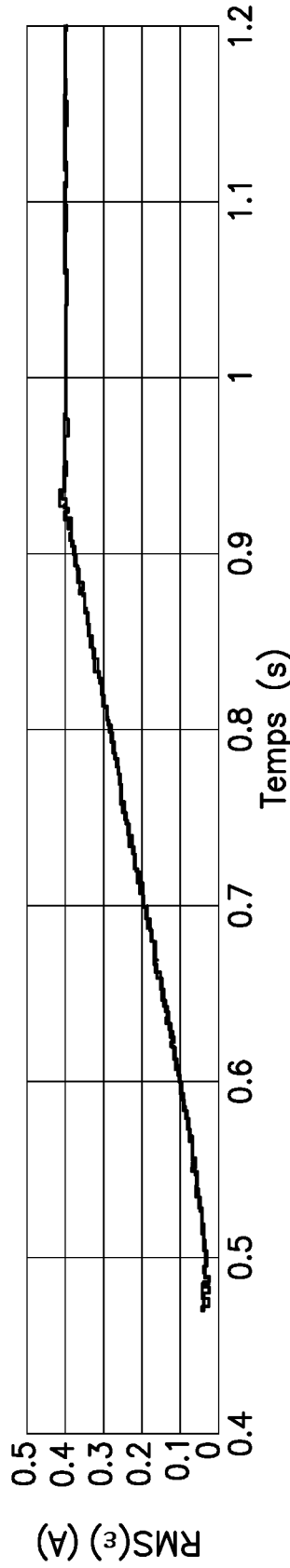


Fig 9B

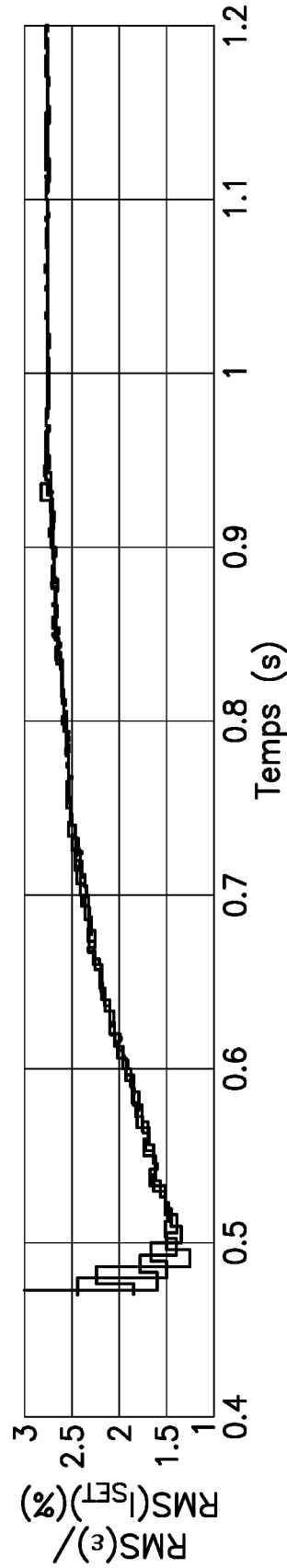


Fig 9C

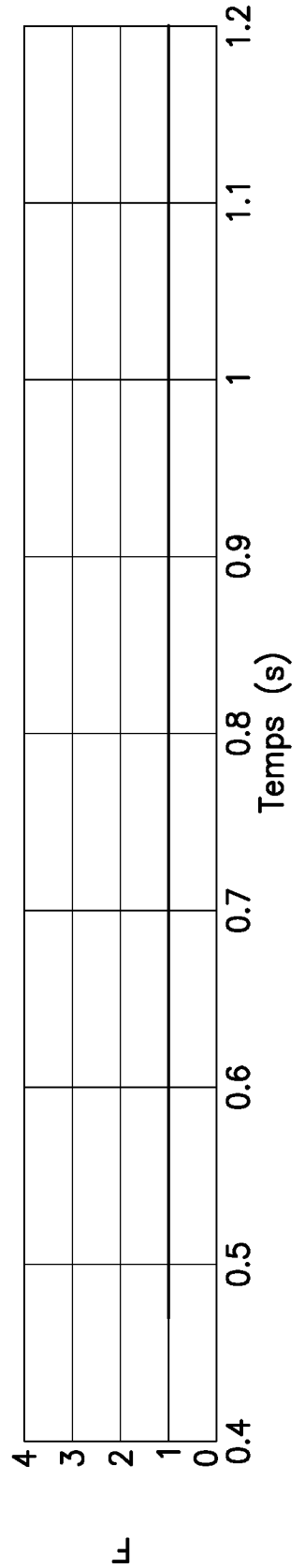


Fig 9D

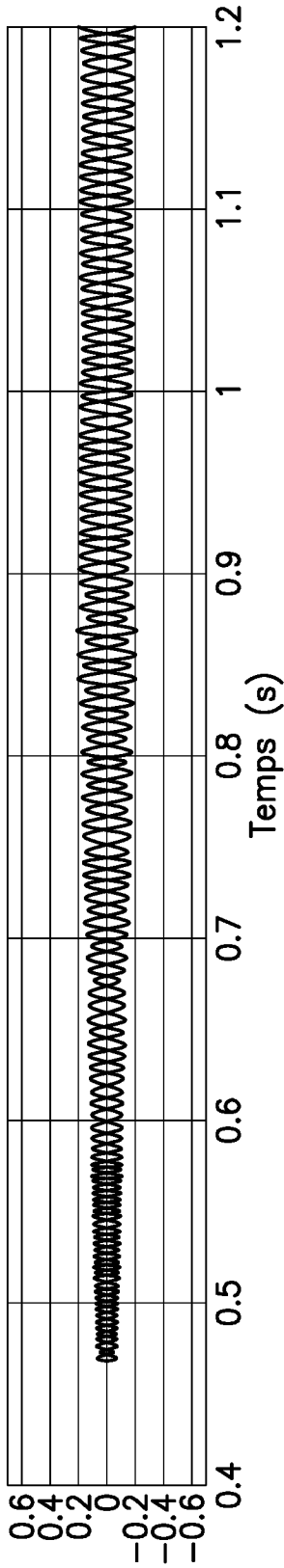


Fig 10A  $i$  (A)

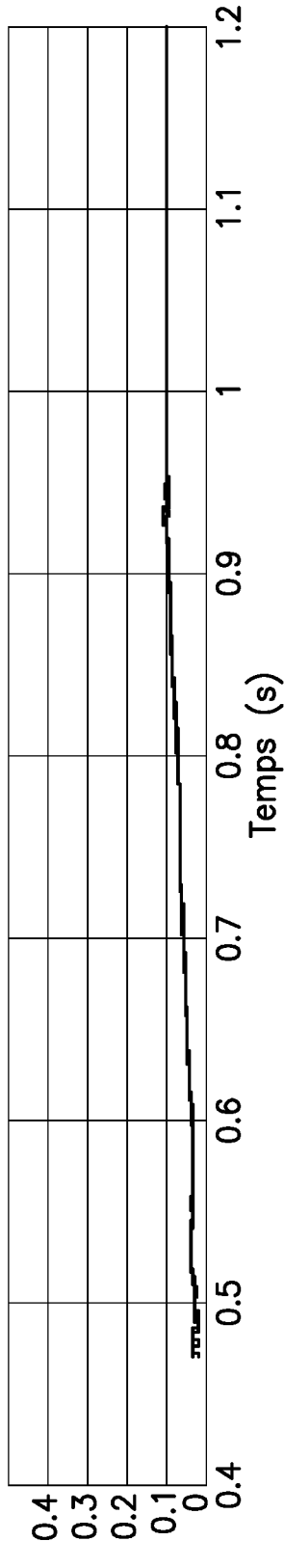


Fig 10B  $RMS(i)$  (A)

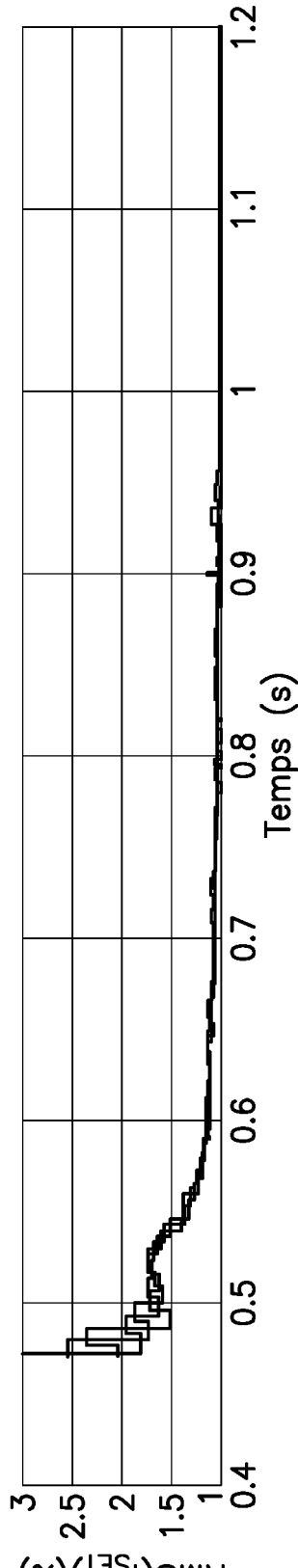


Fig 10C  $RMS(i)/RMS(I_{SET})$  (%)

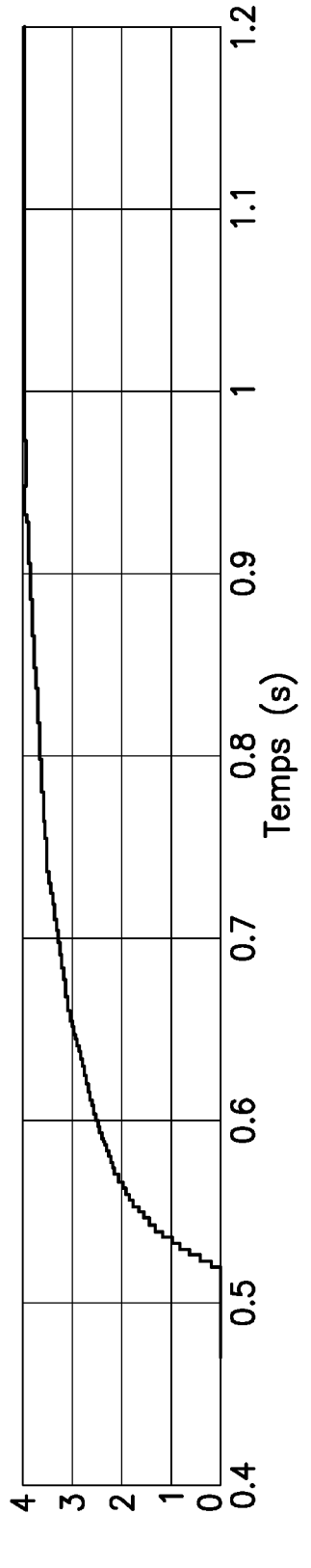


Fig 10D  $i$  (A)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/082796

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>H02M 1/42</i> (2007.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02M  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	SINJARI KHALIL ET AL. "Adaptive Gain Tuning of Onboard Chargers to Mitigate Parameter Uncertainty in V2G Interfaces" <i>2021 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART ENERGY SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (SEST), IEEE</i> , 06 September 2021 (2021-09-06), pages 1-6 DOI: 10.1109/SEST50973.2021.9543167 XP033977839 page 1 - page 4; figures 1, 3, 4	1-10
A	DE 102021130424 A1 (PORSCHE AG [DE]) 25 May 2023 (2023-05-25) paragraph [0041]; figures 1, 2	1-10
A	WO 2016016524 A1 (RENAULT SAS [FR]) 04 February 2016 (2016-02-04) page 9, line 3 - page 12, line 15; figures 1-4	1-10
A	WANG LU ET AL. "Stability Enhanced Design of EV Chargers for Weak Grid Connection" <i>2023 IEEE ENERGY CONVERSION CONGRESS AND EXPOSITION (ECCE), IEEE</i> , 29 October 2023 (2023-10-29), pages 1231-1237 DOI: 10.1109/ECCE53617.2023.10362012 XP034508037 abstract	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>24 January 2025</b>		Date of mailing of the international search report <b>05 February 2025</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the)</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>van Wesenbeeck, R</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2024/082796**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102021130424	A1	25 May 2023	NONE			
WO	2016016524	A1	04 February 2016	CN	106573549	A	19 April 2017
				EP	3175528	A1	07 June 2017
				FR	3024605	A1	05 February 2016
				WO	2016016524	A1	04 February 2016

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°  
PCT/EP2024/082796

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. H02M1/42 ADD.				
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB				
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b>				
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) <b>H02M</b>				
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche				
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) <b>EPO-Internal</b>				
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>				
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées		
<b>X</b>	<b>SINJARI KHALIL ET AL: "Adaptive Gain Tuning of Onboard Chargers to Mitigate Parameter Uncertainty in V2G Interfaces", 2021 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART ENERGY SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (SEST), IEEE, 6 septembre 2021 (2021-09-06), pages 1-6, XP033977839, DOI: 10.1109/SEST50973.2021.9543167 page 1 - page 4; figures 1, 3, 4</b> -----	<b>1 - 10</b>		
<b>A</b>	<b>DE 10 2021 130424 A1 (PORSCHE AG [DE]) 25 mai 2023 (2023-05-25) alinéa [0041]; figures 1, 2</b> ----- - / - -	<b>1 - 10</b>		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</td> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe			
* Catégories spéciales de documents cités:				
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets			
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale			
<b>24 janvier 2025</b>	<b>05/02/2025</b>			
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé			
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	<b>van Wesenbeeck, R</b>			

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>WO 2016/016524 A1 (RENAULT SAS [FR]) 4 février 2016 (2016-02-04) page 9, ligne 3 - page 12, ligne 15; figures 1-4</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-10
A	<p>WANG LU ET AL: "Stability Enhanced Design of EV Chargers for Weak Grid Connection", 2023 IEEE ENERGY CONVERSION CONGRESS AND EXPOSITION (ECCE), IEEE, 29 octobre 2023 (2023-10-29), pages 1231-1237, XP034508037, DOI: 10.1109/ECCE53617.2023.10362012 abrégé</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-10

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2024/082796

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102021130424 A1	25-05-2023	AUCUN	
-----			
WO 2016016524 A1	04-02-2016	CN 106573549 A	19-04-2017
		EP 3175528 A1	07-06-2017
		FR 3024605 A1	05-02-2016
		WO 2016016524 A1	04-02-2016
-----			